VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

КОСМОЛОГИЯ

БЫЛА *ли инфляция?*

РЕЗУЛЬТАТЫ НЕДАВНИХ НАБЛЮДЕНИЙ АСТРОФИЗИКОВ В СОЧЕТАНИИ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ СТАВЯТ ПОД СОМНЕНИЕ СТАВШИЕ ПРИВЫЧНЫМИ КОНЦЕПЦИИ ИНФЛЯЦИОННОЙ ТЕОРИИ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ. ВОЗМОЖНО, НУЖНЫ НОВЫЕ ИДЕИ

Анна Ийас, Абрахам Лоеб и Пол Стейнхард

Photographs by The Voorhes

ОБ АВТОРАХ



Анна Ийас (Anna Ijjas) — постдокторант в Принстонском центре теоретической науки. Сфера ее научных интересов — происхождение, эволюция и будущее Вселенной, а также природа темной материи и темной энергии.



Абрахам Лоеб (Abraham Loeb) — председатель Департамента астрономии Гарвардского университета, директор Гарвардского центра по изучению черных дыр, директор Института теории и вычислений при Гарвард-Смитсоновском астрофизическом центре.



Пол Стейнхард (Paul J. Steinhardt) — почетный профессор им. Эйнштейна в Принстонском университете и директор Принстонского центра теоретической науки. Его исследования охватывают проблемы физики частиц, астрофизики, космологии и физики конденсированных сред.

В 2013 г. 23 марта Европейское космическое агентство провело международную пресс-конференцию, на которой были оглашены новые данные, полученные с помощью аппарата «Планк». В результате работы этой космической миссии была построена лучшая из всех предыдущих карта космического микроволнового фона (реликтового излучения), который образовался больше 13 млрд лет назад, почти сразу после Большого взрыва. Новая карта, по словам ученых, адресованным журналистской аудитории, подтверждает теорию, предложенную космологами еще 35 лет назад, — о том, что Вселенная имела начало как Большой взрыв с последующим кратким периодом сверхбыстрого расширения, называемого инфляцией.

Это расширение сглаживает Вселенную до такой степени, что миллиарды лет спустя она остается почти однородной во всех направлениях и на всем протяжении. Кроме того, она остается плоской, в противоположность искривленной сфере, за исключением областей незначительных колебаний плотности вещества, характеризующих детали распределения звезд, галактик и скоплений галактик вокруг нас.

Основное сообщение конференции: данные «Планка» превосходно вписываются в предсказание простой инфляционной модели, усиливая впечатление ее основательности. Казалось, команда «Планка» закрыла книгу космологии. Три автора этой статьи в Гарвард-Смитсоновском центре астрофизики решили обсудить последствия такого заявления. Анна была тогда приглашенной студенткой из Германии. Пол — один из основателей инфляционной теории 30 лет назад, но его поздние работы указывали на серьезные противоречия ее теоретического обоснования; в то время он проводил отпуск в Гарварде. Абрахам был главой астрономического департамента и гостеприимным хозяином. Все авторы статьи отметили скрупулезную

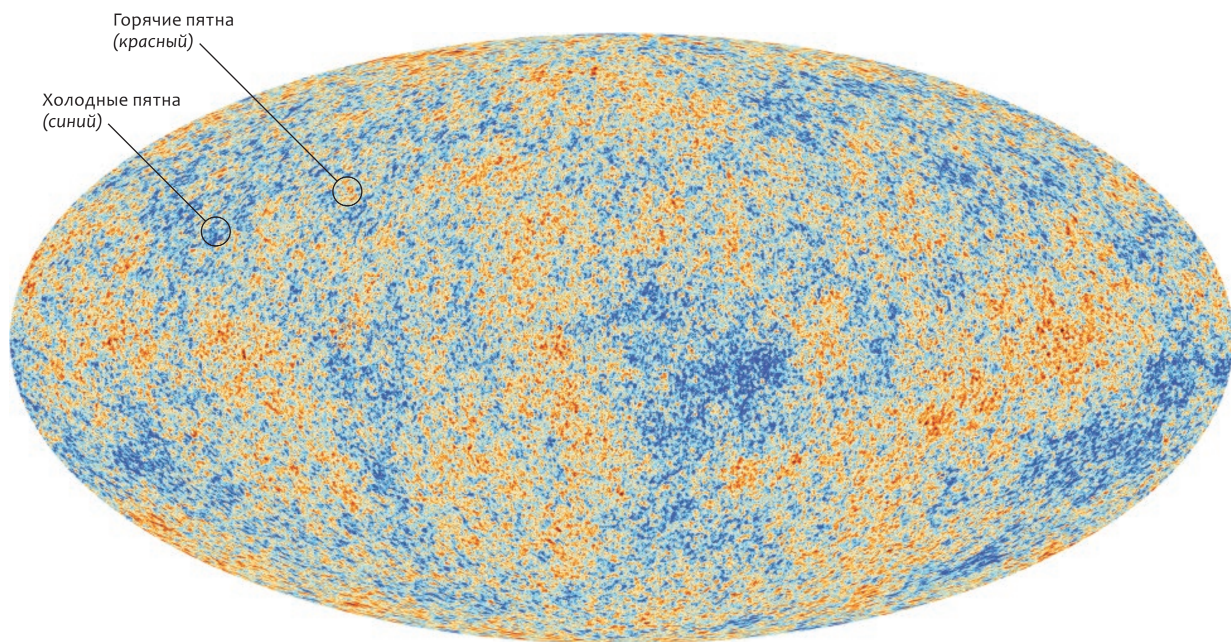
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Последние измерения космического микроволнового фона (реликтового излучения), старейшего света во Вселенной, вызывают озабоченность в отношении инфляционной теории ранней Вселенной, согласно которой в первые моменты своей жизни пространство экспоненциально расширялось.
- Типичное проявление инфляционной стадии — возникновение температурных вариаций (анизотропии) реликтового излучения (хотя картина таких вариаций может быть практически любой). Должны генерироваться также первичные (космологические) гравитационные волны, которые до сих пор не были обнаружены.
- Согласно наблюдательным данным, есть указания на то, что космологи должны пересмотреть парадигму инфляции и рассмотреть новые идеи рождения Вселенной.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Младенческая фотография Вселенной

На рисунке показана карта, полученная в результате работы космической миссии «Планк», запущенной Европейским космическим агентством. Карта представляет собой космический микроволновой фон, старейший свет во Вселенной, дающий мгновенный отпечаток состояния очень ранней Вселенной. Синие участки неба представляют собой области, где температура реликтового излучения (а значит, и температура ранней Вселенной) понижена, а красные участки неба отражают наличие областей с повышенной температурой. Сторонники инфляционной парадигмы — теории, согласно которой Вселенная стремительно расширялась в первые моменты своей жизни, — утверждают, что горячие и холодные пятна вполне соответствуют такой модели. Однако инфляция способна произвести фактически любой подобный «узор» и, согласно теории, как правило, дает больший разброс по температурам, чем это наблюдается на представленной карте. Кроме того, если инфляционная стадия имела место, то реликтовое излучение должно было бы содержать признаки космологических гравитационных волн — рябь пространства-времени, вызванную растяжением. Однако этого не наблюдается. Данные «Планка» показывают, что космологические вопросы еще далеки от окончательных ответов.



точность наблюдений команды «Планка». Однако их не устроила интерпретация полученных результатов. Данные «Планка» не согласовывались с самыми простыми инфляционными моделями и обостряли давние фундаментальные проблемы теории, предоставляя новые поводы для рассмотрения конкурирующих идей о происхождении и эволюции Вселенной. В последующие годы данные о реликтовом излучении, собранные разными наземными и космическими инструментами, заканчивая «Планком», только увеличивали проблемы. Но даже сейчас сообщество космологов не удостаивает значительным вниманием критику теории инфляции и не в состоянии достаточно непредвзято оценить инфляционную теорию Большого взрыва. Общепринятая точка зрения — вера в теорию инфляции, поскольку она предлагает единственное простое объяснение наблюдаемых особенностей Вселенной. Но, с точки зрения авторов настоящей статьи, данные «Планка» в сочетании с теоретическими результатами потрясают основы незыблемости всей инфляционной парадигмы.

Следуя откровению

С целью продемонстрировать проблемы инфляции авторы, следуя указаниям сторонников этой теории, предлагают начать рассуждения следующим образом: предположим, что инфляция истинна, без всяких вопросов. Теперь представим, что некий всевидящий предсказатель сообщил нам: инфляция действительно произошла вскоре после Большого взрыва. Если мы принимаем слова такого оракула на веру, то что же конкретно нам скажет эта вера об эволюции Вселенной? Если инфляция действительно предлагает простое объяснение эволюции Вселенной, то мы ожидали бы, что оракул скажет нам многое из того, чего нам ждать от данных «Планка». Например, оракул сказал бы, что через какой-то небольшой промежуток времени после Большого взрыва должны были остаться крохотные следы пространства, заполненного экзотической формой энергии, которая и вызвала ускоренное расширение (инфляцию). Большинство известных форм энергии, например такие, которые содержатся

в веществе и излучении, сопротивляются расширению Вселенной и замедляют его за счет собственных сил гравитационного притяжения. Инфляция требует заполнения Вселенной энергией с высокой плотностью, но такой, которая противостояла бы гравитации, тем самым вызывая ускоренное расширение. Однако заметим, что этот важнейший ингредиент, называемый инфляционной энергией, гипотетический, поскольку нет прямых доказательств его существования. Кроме того, с момента возникновения инфляционной концепции появились буквально сотни предложений о том, для чего может оказаться нужной инфляционная энергия. Каждое предложение отличает свой темп расширения. Таким образом, инфляция не может быть точной теорией, потому что обладает чрезвычайно гибкой структурой, допускающей много возможностей.

Что же может поведать нам оракул такого, что должно быть истинно для всех без исключений инфляционных моделей? Есть одна вещь, относительно которой мы должны быть уверены согласно нашим знаниям квантовой физики: температура и плотность вещества во Вселенной после окончании инфляции обязательно должны незначительно различаться от места к месту. Случайные квантовые флуктуации на субатомных масштабах могли быть растянуты во время инфляционного расширения до областей космологических масштабов, обладающих разным количеством инфляционной энергии. Согласно теории, ускоренное расширение заканчивается, когда инфляционная энергия *(инфляционное поле. — Примеч. пер.)* распадается на обычное вещество и излучение. В тех областях, где плотность инфляционной энергии (то есть количество инфляционной энергии на кубический метр пространства) оказалась несколько большей, чем в соседних, ускоренное расширение шло дольше, а температура и плотность Вселенной должны были быть немного выше при окончании этой инфляционной стадии. Следствием квантовых флуктуаций инфляционного поля становятся флуктуации плотности в реликтовом излучении. Таким образом, анизотропия реликтового излучения представляет собой холодные и горячие пятна соответственно пониженной и повышенной яркости — это как бы слепок самых ранних стадий жизни нашей Вселенной. В течение последующих 13,7 млрд лет эти небольшие флуктуации плотности и температуры под воздействием гравитационных сил сформировали крупномасштабную структуру космоса.

Такие рассуждения дают хорошее, хотя и несколько расплывчатое начало. Можем ли мы предсказать количество и вид распределения галактик по пространству? На каком уровне Вселенная становится искривленной и закрученной? Что в большой степени составляет современную Вселенную — обычное вещество или другие формы энергии? На все эти вопросы теория инфляции не дает ответа, потому что допускает очень широкий диапазон начальных условий развития Вселенной. Дает ли инфляция ответ на вопрос, почему произошел Большой взрыв или как были заданы начальные условия, приведшие мир к тому, что мы наблюдаем сейчас? Нет, она снова не дает ответа.

Если мы априори знаем, что инфляция истинна, то мы не можем сказать большего о горячих и холодных пятнах, которые наблюдались миссией «Планк». Данные, полученные в ходе его работы, и более ранние исследования реликтового излучения показали, что вид горячих и холодных пятен остается принципиально тем же самым при изменении масштаба — свойство, называемое масштабной инвариантностью. Последние данные «Планка» показывают, что отклонение от идеальной масштабной инвариантности очень мало и составляет всего несколько процентов. Среднее значение температурных колебаний вдоль всех пятен есть примерно одна сотая доля процента. Защитники теории инфляции часто утверждают, что возможно изготовить шаблон с такими свойствами. Однако подобные высказывания оставляют за скобками один ключевой момент: инфляция допускает и многие другие шаблоны холодных и горячих пятен, и эти шаблоны практически не бывают масштабно инвариантными и обычно обладают вариацией температур значительно большей, чем наблюдаемая. Другими словами, масштабная инвариантность возможна, но могут присутствовать и бо́льшие отклонения от масштабной инвариантности — в зависимости от того, какой именно задается плотность инфляционного поля. Таким образом, данные «Планка» не могут быть принятыми как доказательство теории инфляции.

В частности, если априори известно, что инфляция произошла, то в данных «Планка» обязана присутствовать некоторая особенность, поскольку она общая для всех инфляционных моделей. Квантовые флуктуации порождают случайные изменения инфляционного поля, кроме того, эти флуктуации производят случайные искривления пространства, которые распространяются как волны пространственного искажения через всю Вселенную после окончания инфляции. Эти возмущения, известные как гравитационные волны, служат дополнительным источником горячих и холодных пятен в реликтовом излучении. Гравитационные волны дают характерный поляризационный эффект — другими словами, наличие этих волн приводит к тому, что свет приобретает предпочтительную ориентацию своего электромагнитного поля в зависимости от того, исходит ли от горячего или холодного пятна или седлообразных областей между ними. К сожалению, поиск гравитационных волн, рожденных в постинфляционный период, пока не увенчался

успехом. Впервые горячие и холодные пятна — анизотропия реликтового излучения — были обнаружены в результате работы советского эксперимента «Реликт» в 1992 г., а позже в этом же году их наличие было подтверждено американским спутником *COBE* (*Cosmic Background Explorer*, «Исследователь космического фона»). С тех пор анизотропия наблюдалась многократно, включая последние наблюдения «Планка», результаты которых были опубликованы в 2015 г. Однако ни в одном из этих экспериментов вплоть до момента написания данной статьи никаких признаков гравитационных волн обнаружено не было, несмотря на то что они предсказываются теорией инфляции. В 2014 г., 17 марта, по результатам проведения эксперимента *BICEP2* на Южном полюсе было объявлено об обнаружении космологических гравитационных волн, однако более тщательная обработка данных убедила большинство ученых в том, что в действительности наблюдались не гравитационные волны, а поляризация, вызываемая частицами пыли в Млечном пути. Важно подчеркнуть, что ожидаемые космологические гравитационные волны не имеют ничего общего с теми гравитационными волнами, которые генерируются в процессе слияния черных дыр в современной Вселенной, обнаруженными лазерной интерферометрической обсерваторией *LIGO* в 2015 г.

Удивительны результаты эксперимента «Планк»: с одной стороны, реликтовое излучение оказалось неожиданно мало (на несколько процентов) отклоняющимся от идеальной масштабной инвариантности в распределении горячих и холодных пятен, а с другой — гравитационные волны полностью отсутствовали. Впервые более чем за 30 лет простейшие инфляционные модели, включая общепринятые и вошедшие в учебники по космологии, оказались настолько несостоятельными относительно наблюдательных данных. Конечно, теоретики стремительно бросились латать инфляционное полотно, порождая, однако, только новые трудности.

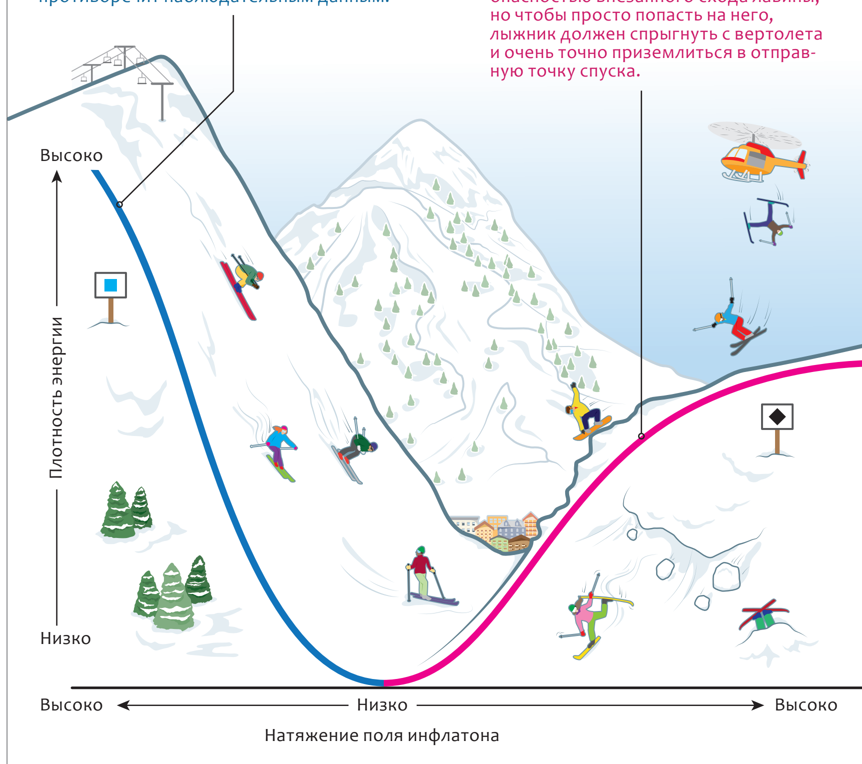
ДВЕ ВЕРСИИ ТЕОРИИ

Инфляция и горнолыжный спуск

Если инфляция произошла, то она должна была быть запущена гипотетической инфляционной энергией, вызываемой так называемым полем инфлатона, пронизывающим пространство. Различные варианты теории инфляции предлагают разные соотношения между натяжением поля инфлатона и плотность инфляционной энергии. Два из таких соотношений приводятся на рисунке. Первая кривая *(синий)* описывает традиционную модель инфляции из общепринятого учебника по космологии. Вторая кривая *(розовый)* показывает ситуацию, требующую специальных начальных условий и представляется очень маловероятной по сравнению с первой. Рядом с кривыми приводятся аналогии со спуском по горнолыжным склонам, из которой видно, почему второй класс моделей — а это как раз то, что не противоречит имеющимся наблюдательным данным, — довольно сложен для реализации.

Устойчивый равномерный склон, отражающий резкий рост плотности энергии, соответствует традиционной модели инфляции, напоминая хорошо предназначенный для катания на лыжах холм. Такие модели дают правдоподобную картину инфляции, потому что они начинаются с разумных значений инфляционной энергии (аналогично удобной точке старта на горнолыжном спуске, которая показана на рисунке), а потом стабильно и предсказуемо развиваются (как плавный спуск лыжника). Однако такая картина противоречит наблюдательным данным.

Такие варианты инфляционной теории носят название «модели с плато». Для возможности своей реализации они требуют крайне маловероятных начальных условий: поле инфлатона должно принять единственно нужное начальное значение в единственно возможный момент времени для запуска инфляционного «скатывания». Такие модели схожи с горнолыжным склоном, который мало того что грозит опасностью внезапного схода лавины, но чтобы просто попасть на него, лыжник должен спрыгнуть с вертолета и очень точно приземлиться в отправную точку спуска.



Лыжник на вершине холма

Для того чтобы в полной мере оценить вклад результатов эксперимента «Планк», следует более детально взглянуть на инфляционные модели, выдвигаемые защитниками инфляционной концепции. Инфляционная энергия мыслится возникающей из гипотетического поля, называемого инфлатоном, аналогично электромагнитному полю, которое пронизывает пространство и обладает натяжением (или некоторым значением) в каждой точке пространства. Поскольку инфлатон — гипотетическое поле, то теоретики могут

свободно допустить его таким, чтобы оно обладало гравитационными силами отталкивания, что и вызывает ускоренное расширение Вселенной. Плотность инфляционной энергии в данной точке пространства задается натяжением поля в этой точке. Связь натяжения поля и плотности энергии может быть представлена в виде кривой на графике, которая напоминает холм. Каждая из сотни имеющихся инфляционных моделей обладает особым видом склона этого холма. Склон определяет свойства Вселенной после окончания инфляционной стадии — например, будет ли Вселенная плоской и гладкой или нет, будет ли обладать масштабно инвариантными разновидностями температуры и плотности или нет.

С момента публикации данных «Планка» космологи как будто ощутили себя в нижеследующей ситуации. Представьте, что вы живете в изолированном городе, расположенном в долине, окруженной холмами. Единственные люди, которых вы когда-либо видели в городе, — это его жители. И вот однажды в городе появляется незнакомка. Каждый, разумеется, хочет узнать, как гостья добралась до города. Вы задаете этот вопрос городскому сплетнику (другими словами, местному оракулу), который утверждает, что она приехала на лыжах. Веря сплетнику, вы рассуждаете, что есть только два холма, которые ведут к долине. Любой, прочитав путеводитель, обнаружил бы в нем первый холм, до которого можно легко добраться с помощью подъемника. Все трассы с этого холма отличаются плавным спуском, видимость и состояние снега в целом хорошие. А вот второй совершенно иной, он не включен ни в одну из стандартных трасс катания на лыжах. И это не удивительно, потому что он грешит опасностью схода лавин. Один путь вниз в ваш город труднопроходим, потому что он берет начало на плоской гряде, а потом внезапно обрывается на крутом утесе. Кроме того, нет подъемника. Единственный возможный способ прокатится на лыжах с этого холма — это спрыгнуть с самолета на парашюте и приземлиться в определенном месте на хребте (с точностью в несколько сантиметров), а потом скатиться с определенной скоростью. Малейшая ошибка уведет лыжника с трассы далеко в сторону от долины, или лыжник и вовсе окажется в ловушке на вершине холма. В худшем случае сход лавины может начаться до того, как лыжник достигнет гребня, так что все закончится трагически. Если городской сплетник все-таки прав, говоря, что незнакомка прибыла на лыжах, то разумнее предположить, что она спустилась с первого холма.

Безумие — вообразить, что кто-то мог бы выбрать второй путь, потому что шансы успешно достичь города ничтожно малы по сравнению с безопасным спуском в первом варианте.

Однако вскоре вы замечаете кое-что в вашей гостье. У нее нет билета на подъемник. Основываясь на этом факте и продолжая свято верить городскому сплетнику, вы будете вынуждены признать, что путь незнакомки проходил как раз по второму холму. Или, быть может, она вообще не каталась на лыжах, и тогда нужно в первую очередь усомниться в правдивости «оракула».

Продолжим аналогичные рассуждения применительно к космологии. Так, если мнимый оракул сообщил нам, что Вселенная эволюционировала до своего современного состояния, пройдя стадию инфляции, то мы ожидаем, что кривая плотности инфляционной энергии будет подобна профилю холма, описанного в путеводителе. Действительно, у такого холма наиболее простой спуск от вершины к подножию, а форма этого спуска задается наименьших количеством регулируемых параметров и самыми простыми условиями, позволяющими начаться инфляции. В самом деле, до сих пор почти все учебники по инфляционной космологии представляли именно такой простейший вид кривой для потенциала инфляционного поля. В частности, плотность энергии вдоль этих простых кривых монотонно растет с изменением напряженности поля. Таким образом, можно получить начальное состояние поля инфлатона, для которого плотность энергии есть число, называемое планковской плотностью (в 10^{120} раз больше, чем плотность поля инфлатона в современной Вселенной), то есть обозначает полную плотность энергии, доступной во Вселенной сразу после рождения. С этого удобного начального состояния, в котором единственная форма энергии есть инфляционная энергия, ускоренное расширение могло бы начаться



сразу. Во время инфляции натяжение поля инфлатона должно было бы естественно эволюционировать таким образом, чтобы плотность энергии медленно и плавно уменьшалась по кривой вниз, в долину, где минимум кривой и будет соответствовать современной Вселенной. Эта эволюция поля может рассматриваться аналогично скатыванию лыжника с холма. Все вышеописанное есть теория классической инфляции, описанной в учебниках.

Однако наблюдения «Планка» говорят о том, что такая история не может быть истиной. Простые инфляционные кривые описывают горячие и холодные пятна с бо́льшим отклонением от масштабно инвариантной картины, чем наблюдается, и с гравитационными волнами достаточно сильными, чтобы их можно было обнаружить. Если мы будем продолжать настаивать, что инфляция все-таки произошла, результаты «Планка» обязывают инфляционное поле спадать по более замысловатой траектории, подобно профилю второго холма из нашего примера с лыжницей — с высокой опасностью схода лавины и с плоским гребнем, который заканчивается крутым обрывом вниз, в долину. Вместо простого, плавно спадающего профиля эта кривая будет резко «дергаться» (образовывая обрывы) от своего минимума до тех пор, пока не выйдет на плато (образуя хребет) при плотностях энергии, которые в миллиарды раз меньше планковской плотности, характеризующей раннюю Вселенную сразу после Большого взрыва. В этом случае плотность инфляционной энергии будет составлять ничтожно малую часть от общей плотности энергии Вселенной после Большого взрыва, слишком малую часть, чтобы сразу привести к ускоренному расширению Вселенной.

Поскольку Вселенная не находится в стадии инфляционного расширения, поле инфлатона может обладать любым начальным значением и меняться с головокружительной скоростью — как лыжник, прыгающий с вертолета. Однако инфляция может начаться, только если поле инфлатона в конечном итоге достигает значения, соответствующего точке вдоль плато, и если поле инфлатона будет меняться очень медленно. Точно так же, как для лыжника очень опасно падать с большой высоты на плоскую гряду с точно определенной скоростью и с последующим плавным спуском вниз, так и для поля инфлатона подобное почти невозможно. Другими словами, очень трудно подобрать скорость так, чтобы началась инфляционная стадия. Чтобы сделать все еще хуже: поскольку Вселенная не находится в стадии инфляции во время рассматриваемого периода после Большого взрыва, когда скорость инфляции замедляется, любые начальные возмущения или неоднородности распределения поля инфлатона будут увеличиваться; когда они вырастут до больших размеров, они будут препятствовать началу инфляционной стадии независимо от эволюции поля инфлатона — по аналогии с тем, как сход лавины может блокировать лыжницу на гладком спуске вне зависимости от того, насколько удачно был начат спуск после прыжка с вертолета. Другими словами, принимая слова оракула на веру и настаивая на том, что инфляция все-таки произошла, мы получили бы очень странный вывод из данных «Планка», а именно — что инфляция началась с постоянной плотностью энергии, несмотря на все вытекающие отсюда проблемы. Или, быть может, в тот момент стоит поставить под сомнение авторитет оракула.

Мультихаос

В реальности, конечно, никакого оракула в нашем распоряжении нет. Мы не можем просто принять предположение о том, что инфляция произошла, тем более что инфляция не дает простого объяснения наблюдательным особенностям Вселенной. Космологи должны оценивать теории путем применения стандартной научной процедуры. Насколько велика вероятность того, что инфляция произошла, с учетом того, что мы реально наблюдаем во Вселенной? В этом отношении неутешительно то обстоятельство, что текущие данные исключают простейшую инфляционную модель и склоняются к ее усложненным вариантам. Но, по правде говоря, последние наблюдения — это не первая проблема, с которой сталкивается теория инфляции. Скорее, эти результаты придали новый поворот давно назревшим вопросам. Например, мы должны рассмотреть, насколько разумно для Вселенной иметь начальные условия, необходимые для любого типа поля инфлатона вообще. Два невероятных условия должны быть удовлетворены для того, чтобы инфляция началась. Во-первых, вскоре после Большого взрыва существует область пространства, в которой квантовые флуктуации пространства-времени уменьшаются и исчезают и пространство-время начинает подчиняться классическим уравнениям общей теории относительности Эйнштейна. Во-вторых, область пространства должна быть достаточно плоской и обладать достаточно гладким распределением энергии, чтобы инфляционная энергия могла расти и доминировать над другими формами энергии. Некоторые теоретические оценки показывают, что вероятность существования такой области с нужными характеристиками сразу же после Большого взрыва меньше, чем вероятность найти снежную гору, оборудованную подъемником, и ухоженные лыжные трассы посреди пустыни.

Более важно то, что если оказалось бы легко найти область пространства, возникшую после Большого взрыва, плоскую и достаточно гладкую, чтобы инфляция могла начаться, то инфляция стала бы вовсе не нужной. Напомним, что мотивация для внедрения инфляционной стадии — это

объяснение, каким образом современная видимая Вселенная стала такой, какой мы ее наблюдаем. Если для начала инфляции требуются те же самые свойства с той лишь разницей, что они необходимы в меньшей области пространства, то вряд ли такие рассуждения можно назвать прогрессом.

Однако такие вопросы — лишь начало проблемы. Инфляция не только требует трудных для реализации начальных условий — инфляцию невозможно остановить, если она началась. Это последнее восходит к природе квантовых флуктуаций пространства-времени. Такие флуктуации вызывают напряжение поля инфлатона, поле меняется по пространству. В результате в некоторых областях пространства инфляция уже заканчивается, а в других еще нет. Квантовые флуктуации было принято считать крошечными, однако в 1983 г. теоретики, включая Стейнхарда, пришли к выводу, что большие квантовые скачки в инфляционном поле хоть и редки, но возможны и могут полностью изменить инфляционную историю. Большие прыжки могут увеличить натяжение поля инфлатона до значений, существенно превышающих среднее, приводя к тому, что в таких областях инфляция будет происходить значительно дольше. Хотя большие скачки редки, но области, которые благодаря им подвергаются расширению, достигают размеров, значительно больших соседних областей, и, следовательно, быстро начинают доминировать в пространстве. За мгновения области, где инфляционное расширение прекратилось, окажутся окруженными по-прежнему раздувающимися областями. Затем процесс повторится. В самой большой области натяжение инфляционного поля будет меняться таким образом, что плотность энергии начнет уменьшаться и инфляция будет заканчиваться, но редкие большие квантовые скачки будут продолжать удерживать инфляционное расширение в некоторых областях, создавая еще большие объемы. Этот процесс будет продолжаться до бесконечности.

Таким образом, инфляция длится вечно, генерируя бесконечное количество областей, в которых она закончилась и образовалась отдельная вселенная. Только в таких областях, где инфляция закончилась, темп расширения пространства падает настолько, что могут образовываться галактики, звезды, планеты и жизнь. Наиболее тревожащим следствием такой модели вечной инфляции представляется то, что космологические свойства в каждой области различны из-за случайностей начальных квантовых флуктуаций. В целом большинство вселенных не становятся ни плоскими, ни свободными от деформаций. Распределение вещества не будет гладким. И картина распределения горячих и холодных пятен в анизотропии реликтового излучения не будет масштабно инвариантной. Области будут характеризоваться бесконечным числом возможных значений параметров, включая в том числе и нашу собственную Вселенную, и никакой из вариантов не будет предпочтительнее другого. В результате получается конструкция, которую космологи называют мультивселенной (мультимиром). Поскольку каждая область может обладать любыми физически мыслимыми законами, концепция мультимира не объясняет, почему наша Вселенная обладает особыми свойствами, которые мы наблюдаем. Все особенности нашей Вселенной оказываются чисто случайными. Возможно даже, что такая картина слишком оптимистична. Некоторые ученые спорят, может ли какая-либо область пространства эволюционировать в видимую нами Вселенную. Вместо вечной инфляции может реализоваться чисто квантовый мир с неопределенными и случайными флуктуациями повсюду, даже в тех областях, где инфляция заканчивается. Авторы хотели бы предложить новый термин — «мультихаос» — как более удачный для описания нерешенного исхода вечной инфляции, заключается ли она в наличии бесконечного множества областей со случайно распределенными свойствами или же в наличии квантового беспорядка. С точки зрения авторов, нет никакой разницы в том, какое из описаний более корректно. В любом случае мультихаос не делает таких предсказаний относительно свойств нашей наблюдаемой Вселенной, чтобы она стала бы более вероятной. Хорошая же научная теория должна объяснять, почему мы наблюдаем именно одно, а не другое. Мультихаос не проходит этот основной тест.

Смена парадигмы

Если принимать во внимание все обсужденные проблемы, предположение того, что инфляция не произошла, заслуживает серьезного рассмотрения. Если мы сделаем шаг назад, то существуют две логические возможности. Либо у Вселенной было начало, называемое Большим взрывом, либо у нее не было начала и вместо Большого взрыва был так называемый Большой отскок — переход от какой-то предыдущей фазы космологического развития к современной расширяющейся фазе. Хотя большинство космологов предпочитают концепцию Большого взрыва, на данный момент нет никакого резона отдавать предпочтение тому или иному названию события, произошедшего 13,7 млрд лет назад. В случае Большого отскока, в противоположность Большому взрыву, не требуется последующего периода инфляции для создания Вселенной современного вида. Другими словами, Большой отскок воспринимается как резкий отход от парадигмы инфляции. Модель Большого отскока дает такой же эффект, как модель Большого взрыва совместно с инфляцией, потому что до Большого отскока процесс медленного сжатия,

растянутого на миллиарды лет, вполне мог сгладить и сделать плоской Вселенную. Может показаться нелогичным, что медленное сжатие обладает тем же свойством, что и быстрое расширение, но есть простой аргумент, показывающий, что так и должно быть.

Напомним, что без инфляции медленно расширяющаяся Вселенная может стать более искривленной, деформированной и неравномерной во времени за счет гравитационных эффектов пространства и вещества. Представьте, что вы смотрите кинофильм, в котором этот процесс запущен вспять: большая, сильно искривленная, деформированная и неоднородная Вселенная постепенно сжимается и становится плоской и однородной. Таким образом, гравитация работает как бы реверсивно, разглаживая пространство и вещество в медленно сжимающейся Вселенной.

Как и в случае инфляции, квантовая физика изменяет картину обычного сглаживания и в модели Большого отскока. Квантовые флуктуации меняют скорость сжатия от точки к точке, поэтому некоторые области испытывают отскок и начинают расширяться и охлаждаться раньше других. Ученые смогли построить модели, в которых температурные флуктуации после Большого отскока зависят от скорости сжатия таким образом, чтобы соответствовать наблюдаемой «Планком» анизотропии реликтового излучения. Другими словами, сжатие до Большого отскока может делать то же самое, для чего была в свое время изобретена инфляция. Вместе с тем теории отскока имеют важное преимущество по сравнению с инфляционными моделями — они не порождают мультихаоса. Когда начинается фаза сжатия, Вселенная уже обладает большими размерами и описывается классической теорией Эйнштейна. Отскок происходит до того, как Вселенная сожмется до таких микроскопических размеров, когда квантовые эффекты станут значимыми. В результате никогда не наступает стадия, описываемая квантовой физикой, и, в отличие от модели Большого взрыва, нет нужды придумывать, как перейти от квантового описания к классическому. Поскольку во время сглаживания нет инфляции, которая вызвала бы появление редких больших квантовых флуктуаций и резкого увеличения объема, сглаживание в процессе сжатия не приводит к появлению многих вселенных. Последние теоретические работы дают представление о механизмах того, как можно было бы провести Вселенную от сжатия к расширению, построив, таким образом, космологию Большого отскока.

Наука без эмпирической проверки?

Учитывая проблемы с инфляционными моделями и возможности космологических моделей с отскоком, можно было бы ожидать оживленных дискуссий среди ученых, акцентированных на том, как различить эти две теории на основе наблюдательных данных. Однако существует одна тонкость: инфляционная космология, насколько мы сегодня ее понимаем, не может быть оценена на истинность с помощью научных методов. Как обсуждалось выше, ожидаемые выводы инфляционной модели могут быть легко изменены при варьировании начальных условий, при изменении профиля кривой инфляционной энергии или просто замечанием о том, что инфляционная картина приводит к вечной инфляции и к мультихаосу. Каждая по отдельности и все вместе, эти особенности делают инфляцию настолько гибкой, что ни одно наблюдение не сможет ни доказать, ни опровергнуть ее. Некоторые ученые признают, что инфляция непроверяема, но все же не могут от нее отказаться. Исследователи предлагают изменения в самом научном познании путем отбрасывания одного из его основополагающих свойств — проверки наблюдениями или экспериментами. Такое заявление вызвало бурные дискуссии о природе науки и ее возможном пересмотре, продвигая идею новой, неэмпирической науки.

Распространенное заблуждение заключается в том, что эксперименты могут быть использованы для фальсификации теории. На практике опровергнутая теория дает меньше шансов, чтобы как-то ее залатать. Теория становится все более архаичной и искусственно усложненной для соответствия новым наблюдениям и, наконец, доводится до такого состояния, когда ее предсказательная сила практически сводится к нулю. Эта предсказательная сила характеризуется тем, сколько возможностей исключает теория. Чем меньше шансов подправить такую теорию, тем меньшей мощностью она обладает. Теория, подобная модели мультихаоса, не исключает ничего и поэтому обладает нулевой мощностью. Декларирование пустой теории как бесспорного стандарта требует каких-то аргументов за пределами науки. Не считая мнения оракула, единственная альтернатива — это привлечение авторитетов. История учит нас, что это неверный путь.

Сегодня нам повезло вскрыть с помощью наблюдений острые проблемы теории. Тот факт, что наши лидирующие концепции не разработаны, — это историческая возможность для прорыва теорий. Вместо того чтобы закончить историю о ранней Вселенной, мы должны признать, что книга космологии широко открыта. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ Inflationary Paradigm in Trouble after Planck 2013. Anna Ijjas et al. in Physics Letters B, Vol. 723, Nos. 4–5, pages 261–266; June 25, 2013.